

MEJORAS EN LA CALIDAD DE VIDA DE POBLADORES DE UN CASERÍO EN LA LOCALIDAD DE CAFAYATE MEDIANTE EL USO DE ENERGÍA SOLAR

Montero M.T¹, Torres Deluigi M.del R²., Robredo P³, Quiroga M⁴.

1 Fac.Cs. Exactas. UNSa -3 Fac.Cs. Naturales. UNSa - 4 INENCO. UNSa
Buenos Aires 177 - 4400 Salta. Tel. 0387 255 424 Fax 0387 4255 489. Email: robredop@unsa.edu.ar

2 Laboratorio de Energía Solar UNSL
Chacabuco y Pedernera, San Luis. Tel 0652 25109. Email: solar@unsl.edu.ar

RESUMEN: Se proponen diferentes estrategias aplicando energía solar para mejorar la calidad de vida de comunidades rurales aisladas y de bajos recursos en la localidad de Cafayate. La propuesta fue elaborada en el marco de la Maestría en Energías Renovables, Universidad Nacional de Salta, considerando las necesidades más urgentes de los pobladores. Se trabajó con datos climáticos y de radiación solar de la región. Se presenta el diseño de: un sistema fotovoltaico centralizado para la provisión de energía eléctrica, un equipo de secado solar para productos agrícolas estacionales, una escuela comedor con su correspondiente balance térmico y simulación horaria, destiladores tipo batea para proveer de agua potable al poblado y un calefón solar para suministro de agua caliente a la escuela, incluyendo los análisis de costos correspondientes. Los resultados obtenidos indican que es posible aplicar la presente propuesta para mejorar las condiciones de vida de los pobladores considerados.

PALABRAS CLAVE: energía solar, destiladores, fotovoltaica, secador, acondicionamiento térmico de edificios.

INTRODUCCION

La localidad de Cafayate se encuentra ubicada a 26° 30 ' de latitud sur, a 1680 msnm, en la región de los Valles Calchaquíes en la Provincia de Salta. La misma está limitada el Este por las cumbres Calchaquíes, una barrera orográfica de más de 3000 msnm, que condiciona fuertemente su clima. Se trata de una región árida casi en su totalidad, con clima seco e inviernos rigurosos. La temperatura media anual es de 16.5 °C. El promedio anual de los grados día es de 1326 °C día. Las temperaturas medias para el mes más frío (junio) y para el más cálido (diciembre), son de 8.4 °C y de 21.9 °C respectivamente. La mínima absoluta anual es - 9 °C y la máxima 39.6° C. Estos datos estadísticos, se basan en los proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional correspondientes a la localidad de San Carlos, distante 20 km de Cafayate y, los mismos se encuentran recopilados en el Atlas Climatológico del INENCO.

La humedad relativa media anual es del 60 %; las precipitaciones alcanzan 123 mm anuales concentrados en los meses de noviembre a abril; las mayores precipitaciones se producen en el mes de enero. En la región se distribuyen numerosos valles intermontanos, con microclimas protegidos que permiten la actividad agrícola. Son frecuentes suelos y agua con alto contenido de sales, sobre todo en la zona de riego y de uso del agua del Río Calchaquí. El cielo es muy claro, resultando una heliofanía relativa promedio anual de 72 %, alcanzando en el mes de junio su máximo valor del 83 %. La radiación solar media anual sobre el plano horizontal es de 20 MJ/m². La mínima media anual se encuentra en junio con 13,5 MJ/m² (alcanzando los 17.01 MJ/m² en plano vertical con orientación al norte). La máxima media anual en diciembre y febrero con 25,5 MJ/m² (alcanzando los 8.2 MJ/m² en plano vertical con orientación al norte).

La actividad principal de la región es la agricultura bajo riego, con una amplia gama de productos entre los que se pueden destacar, el pimiento para pimentón (el Valle Calchaquí produce el 70 % del total nacional), la vitivinicultura, cultivo de frutales y aromáticas. Existe una tradición en la producción de productos deshidratados como pimentón y frutas, que se secan en canchas al aire libre, lo que disminuye su calidad y restringe su mercado. Actualmente se está incursionando en la producción de especies aromáticas como orégano, comino y anís. Una actividad en creciente desarrollo en la zona es el turismo, con gran afluencia en los meses de verano, lo que ha permitido la apertura de un mercado alternativo, que representa una alta demanda estacional de productos tanto artesanales como agrícolas.

La propuesta se adapta para pequeños caseríos frecuentes en la zona, con un promedio de 5 familias conformadas por 2 adultos y 3 niños. Estos caseríos frecuentemente, cuentan con una escuela precaria a la que concurren además niños vecinos. Estas poblaciones no disponen de energía eléctrica, utilizan leña (eventualmente gas envasado) tanto para la cocción de

alimentos como para el calentamiento de agua. Tampoco disponen de agua potable, utilizan agua de riego o de pozo con alto contenido salino. En general cuentan con una organización de tipo comunitaria.

La presente propuesta incluye el diseño posible para una escuela, con aprovechamiento solar y un secador para mejora de las condiciones productivas y de comercialización.

PROVISIÓN DE AGUA POTABLE:

Se plantea el uso de destiladores tipo batea, con una cubierta de vidrio, y batea de chapa recubierta en plástico. La alimentación se realiza desde un tanque elevado central provisto de un sistema de cañerías, para su distribución, a cada unidad de consumo.

Se acepta que la eficiencia del destilador es 34 %, considerando una aislación de 5 cm de poliestireno expandido. La temperatura del agua es de 60°C, con lo cual el calor de vaporización es de 2260 J/g. En invierno la radiación sobre el plano horizontal en Cafayate es de 13,5 MJ/m² día, mientras que en verano alcanza el valor de 25,5 MJ/m² día. El caudal másico diario de destilado (referido a 1 metro cuadrado de batea) en verano será de 3,8 Kg (3,8 L/m²día) y en invierno de 1,9 Kg. (1,9 L/ m² día).

Instalando 8 m² de batea de destilador por vivienda se asegura una provisión de 15.2 L/día en invierno y 30.4 L/día en verano, lo que asegura un consumo mínimo de 3L/día persona, en la época de menor producción. Del mismo modo para la escuela con la instalación de 14 m² de batea se asegura un consumo de 1.5 L/día niño y una provisión de 3L/día para uso del maestro. Adoptando módulos de 2 m², la escuela contará con 7 módulos, mientras que las viviendas con 4 módulos cada una. El costo de construcción e instalación de los destiladores es de \$ 100/m². Considerando que la producción anual media es de 2,9 L /m² día se obtiene una producción anual media de 57159 L, con lo que el costo referido al volumen de destilado es de 12 \$/m³

	Por año	Total
Inversión 54 m ² (100 \$/m ²)/10 años	540	5400
Mantenimiento (3 % de inversión inicial)	162	1620
Total	\$ 702	7020

Cuadro 1: Costo anual total (superficie instalada 54 metros cuadrados)

PROVISIÓN DE AGUA CORRIENTE

Entre las mejoras se considera la provisión de agua corriente a partir de pozo, instalando un tanque de reserva con bomba, y una red de distribución domiciliaria. Se colocará un tanque de 3000 L, lo que asegura la dotación prevista de 55 L/día habitante, teniendo en cuenta proyección de crecimiento futuro de la población, de un 80 % en 10 años. El sistema cuenta con una bomba con un caudal de 2 *10⁻⁴ m³ /s, cañería de impulsión de 19 mm, con una altura manométrica total de 32 m, incluyendo las pérdidas de carga del sistema. La potencia nominal de la bomba es de 107 W (0.14 HP)

PROVISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

La provisión de energía eléctrica se realizará a través de paneles fotovoltaicos, en una instalación centralizada considerando un consumo aproximado detallado en el Cuadro 2.

UNIDAD DE CONSUMO	ENERGIA (wh)
Escuela	600
Bomba	532
Viviendas (total)	700
Total	1832 wh/día

Cuadro 2: Consumo estimado por unidad de consumo

Se tomará una potencia fotovoltaica pico de 53 W (dato del fabricante para una radiación de 1kW/m²), con un factor de seguridad de 1,2. La cantidad de horas equivalentes a las de máxima radiación, que surgen utilizando el procedimiento de cálculo de Liu Jordan, es de 5 horas. Con lo cual el número de paneles necesarios será de 9.

Se instalarán 6 baterías de 160 Ah con un valor de descarga del 50%, tomando 3 días consecutivos nublados, como factor de seguridad.

DISEÑO DE LA ESCUELA

Se adoptó un criterio similar al existente en la construcción de las casas típicas del Valle Calchaquí: un esquema lineal de locales volcados a una galería con fuerte incidencia funcional de usos múltiples (lugar de juego de los niños, salón de actos, etc). La galería al norte mencionada, es precisamente el elemento solar adoptado para el acondicionamiento térmico del edificio y, funcionará como invernadero en invierno (cerrada) y abierta en verano.

Materiales y Técnicas constructivas

Las paredes exteriores tendrán un muro interior de adobe de 0.30 m de espesor, una capa de 0.03m de poliestireno expandido y un muro externo de adobe de 0.10 m de espesor. Las paredes internas de adobe tendrán 0.30m de espesor. Se incluirá una estructura resistente antisísmica. El contrapiso será de piedra y mezcla con baldosas de granito oscuro. Las fundaciones perimetrales tendrán aislación externa. Todo lo descrito indica un diseño fuertemente masivo, aspecto importante en lo referido a acumulación.

Los cerramientos de ventanas serán de policarbonato alveolar de 10 mm. Se prevé el uso de persianas de madera para evitar el recalentamiento en verano y reducir las pérdidas nocturnas en invierno. El techo, con cubierta liviana de chapas de fibrocemento y cielorraso de madera, tendrá una aislación de poliestireno expandido de 0.05 m de espesor y una membrana impermeabilizante. Se prevé un corte de techo entre la galería y el aula – comedor. El mismo tendrá lucernaria 0.5 m de altura al Norte, para el ingreso de luz en aula y comedor. La pendiente Sur del techo es de 18% y la Norte es de 10%. En la Figura 1 se muestra la planta de la escuela y en la Figura 2 un corte transversal de la misma.

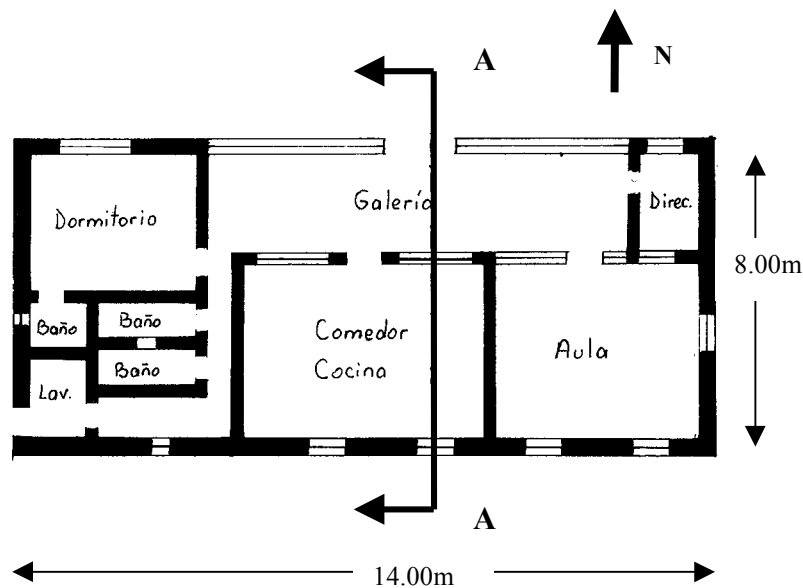


Figura 1: Planta de la escuela.

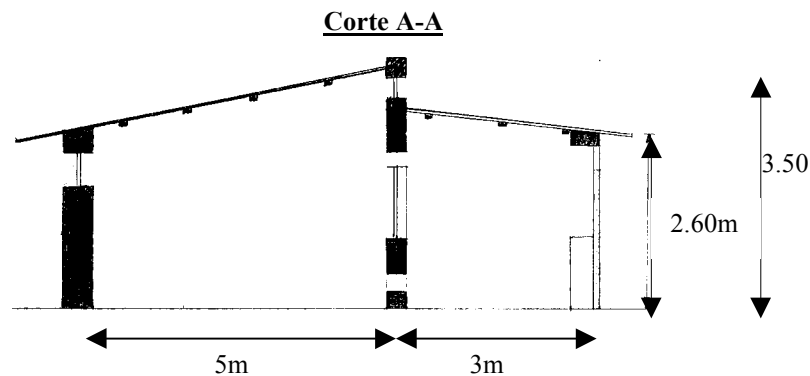


Figura 2: Corte transversal A-A.

La utilización del Adobe Estabilizado constituye una premisa importante en el diseño de la escuela. Se lo propone basándose en dos consideraciones fundamentales. Por una parte la utilización de, materiales y mano de obra local, equipos simples y, de material de construcción tradicionalmente usado en la región, llegando a encontrarse edificios que cuentan con 200 años de vida útil. Por otro lado, el adobe brinda las condiciones de masa necesarias para asegurar un buen comportamiento respecto a la acumulación de energía, como así también los espesores usados son óptimos respecto a la aislación en paredes exteriores, contribuyendo así a crear inercia térmica en la construcción. Para mejorar el adobe tradicional evitando la erosión e impregnación por efecto de las lluvias, se ha experimentado un procedimiento de incorporación la mezcla de amasado de un componente hidrófugo soluble en agua, los resultados han sido excelentes (L. Saravia y G. Lesino, 1984).

Balance Térmico

Considerando el diseño propuesto para la construcción de la escuela, se tienen los indicadores dimensionales que se muestran en el Cuadro 3. La superficie de ventanas externas se distribuye de la siguiente manera: al norte 16.3m², al sur 2.75 m², al este 1 m², al oeste 1.23 m² y, la lucernaria norte es de 9.5 m².

Paredes externas	Ventanas externas y lucernaria	Techo	Perímetro de la Fundación	Volumen Edificio
107.42 m ²	30.78 m ²	153.5 m ²	54 m	425.6 m ³

Cuadro 3: indicadores dimensionales

La Carga Térmica Unitaria (CTU) es la pérdida de calor del edificio por cada grado centígrado de elevación de su temperatura interna respecto a la del ambiente. Las pérdidas diarias se resumen a continuación en el Cuadro 4, resultando la CTU=40.25 MJ/°C día.

	Paredes	Ventanas	Techo	Perímetro	Infiltraciones	CTU (MJ / (°C día))
Pérdidas diarias (MJ / (°C día))	4.6	7.45	6.2	1.6	20.4	40.25
Porcentajes	11.4 %	18.5 %	15.4 %	4 %	50.7 %	100 %

Cuadro 4: Pérdidas diarias

Considerando que el maestro vive en la escuela y que los niños permanecen sólo la tercera parte del día en la misma, se encuentra que el calor aportado por las personas (Q_{gen}) es de 150 MJ/día. La ganancia directa por superficie vidriada al norte (Q_{sol}) es proporcional a la misma superficie y a la radiación total disponible en ella. La temperatura de diseño es $T_o=20^{\circ}C$ y la media de un día de invierno es $T_a=8.4^{\circ}C$. Igualando las pérdidas, representadas en el primer miembro de la ecuación (2), a las ganancias (segundo miembro de (1)), resulta una superficie vidriada al norte de 26.4 m². Este valor es muy próximo al de 25.8 m² previstos en el diseño, los que serán suficientes para lograr una temperatura en el edificio de 19.8°C.

$$CTU * (T_o - T_a) = Q_{solar} + Q_{gen} \tag{1}$$

Simulación Térmica Horaria

Los datos de diseño de la escuela se ingresaron al programa SIMEDIF (Casermeiro y Saravia, 1984) para obtener la evolución de temperatura en los locales internos de la escuela. Se analiza el intercambio térmico completo del edificio durante tres días del mes más frío, considerando la variación horaria de la radiación incidente y de la temperatura externa. Para simplificar el ingreso de datos, se dividió el edificio escolar en 3 ambientes que térmicamente pueden tener un comportamiento bastante homogéneo. Ellos son: 1) galería, 2)aulas-comedor y 3)dormitorio-baños- lavadero.

Los resultados de la simulación se presentan en la Figura 3, y muestran que las temperaturas medias de la galería y de las aulas son de 15°C y 14°C respectivamente, inferiores a la de confort buscada. Esto indica la necesidad de realizar ajustes en el diseño final. La variación de temperatura dentro de la escuela (6°C en la galería y 4.5°C en las aulas) indica que la masa térmica es suficiente para evitar saltos térmicos grandes entre el día y la noche.

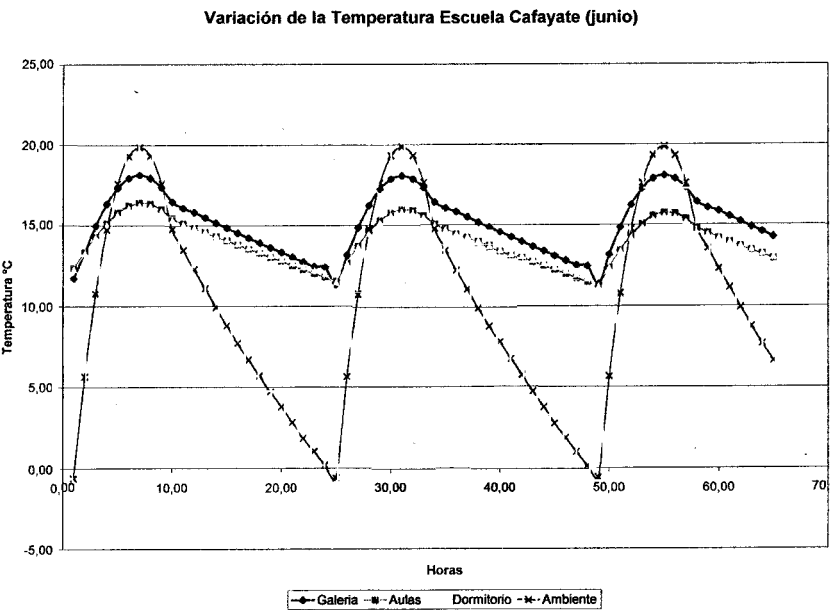


Figura 3: Evolución horaria de las temperaturas de la galería, aulas, dormitorio y ambiente.

PROVISIÓN DE AGUA CALIENTE

La demanda de agua caliente en la escuela se cubrirán mediante un calefón solar. Según los usos diarios previstos (higiene del maestro, lavado de las manos de los niños y de la vajilla usada en el almuerzo), se requieren 110 L/día de agua caliente.

Calculamos el área del colector a partir de la conocida ecuación (2) que establece la conservación de la energía para un colector Solar Plano (Duffie Beckman, 1991).

$$m \cdot c_p \Delta T = A_c F_R \{I_T \alpha \tau - U_L (T_i - T_a)\} \quad (2)$$

Para Cafayate tenemos que, en el caso más desfavorable que corresponde al mes de junio, la irradiancia en un plano inclinado 41° (latitud +15°) es de $I_T = 500 \text{ W/m}^2$, la temperatura ambiente media es $T_a = 8.4^\circ\text{C}$ y $T_i = 45^\circ\text{C}$.

Considerando los colectores nacionales del mercado se elige uno de alta eficiencia para el cual los parámetros son aproximadamente los siguientes: $F_R = 0.99$, $\alpha = 0.8$, $\tau = 0.9$ y $U_L = 6.5 \text{ W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ (M. Torres, J. Follari y A. Fasulo, 1996). Por lo que resulta $A_c = 1.6 \text{ m}^2$. Entonces se decide instalar un calefón solar que posea un área de colector de 2 m^2 y un tanque de almacenamiento de 160 L.

Se debe considerar que el agua a ser calentada no está desalinizada, por lo que se propone un sistema de circulación cerrada. Esto trae aparejado el uso de un intercambiador de calor que encarece el sistema de almacenamiento recargando en un 20% el costo del tanque. Los costos se detallan en el Cuadro 5.

Colector	\$420
Tanque e instalaciones	\$360
Instalación y mano de obra	\$80
Total	\$860

Cuadro 5: Costos estimados

SECADOR PARA ESPECIES AROMÁTICAS:

Para secar especies aromáticas se prevee instalar un secadero invernadero pasivo en tandas, con incidencia directa de radiación, de corte trapezoidal, con estructura de madera, cubierta plástica, y con estantes de madera y bandejas plásticas.

El invernadero se dimensiona para el secado de 2 Tn de producto fresco en 5 días, lo que posibilita procesar varias tandas de producto en los meses de máxima cosecha (diciembre y enero), como así también es aplicable al secado de frutas.

El dimensionamiento se realizó teniendo en cuenta las condiciones de temperatura, humedad y radiación (calculada por método Liu Jordan) del mes de diciembre y considerando un coeficiente de aprovechamiento de radiación de 35 %, que incluye las pérdidas y recuperación de la misma.

El producto a secar inicialmente tiene un 80 % de humedad en base húmeda; siendo necesario obtener un producto con 20 % de humedad, lo que implica que cada 2000 Kg de producto fresco, es necesario evaporar 1500 Kg de agua, de los cuales el 50 % se elimina en las primeras 24 hs. El tiempo diario de secado es de 8 hs. Con una velocidad del aire promedio estimada de 0.1 m/s, el flujo másico de aire por unidad de superficie será de 0.03 kg/s m².

Con los valores de humedad y temperatura del lugar y la cantidad de agua evaporada, por medio del diagrama psicrométrico, se estiman las condiciones del aire a la entrada salida del secador, resultando una humedad absoluta a la entrada de 0.01 Kg/Kg y 0.013 Kg/Kg de humedad absoluta a la salida del mismo. (Saravia L. et al 1992)

Considerando estos valores el área de secador necesaria surge de la relación:

$$AS = Mpr / Gu \text{ (kg/seg m}^2\text{)} * Nh \text{ (hs)} * 3600 * (Wsec - Wa)$$

Gu : caudal másico de aire por unidad de superficie del secadero

Nh : número de horas de secado

Wsec: humedad absoluta de salida

Wa : humedad absoluta de entrada

Mpr : masa de agua evaporada el primer día

El área de secado necesaria es de 300 m². Considerando esto y una densidad de carga de 7 Kg/m² de bandeja (recomendada para la zona), se considera adecuada la construcción de un secador de 100 m², con tres niveles de bandeja.

ANÁLISIS DE COSTOS

En el cuadro 6 se muestran los costos estimados para llevar a cabo las propuestas ya analizadas.

Estación de carga con convertidor	Total US\$
Total estación de carga (paneles, baterías, inversor, regulador, cables, etc)	7917
Sistema de distribución de agua	
Total sistema de distribución de agua (bomba, cañerías, instalación y accesorios, tanque etc)	1450
Instalación de agua caliente escuela	
Total Instalación de agua caliente escuela (Colector, tanque instalación etc)	860
Destiladores para producción de agua potable (54m²)	
Total sistema de potabilización (destiladores de batea e insumos)	5400
Secador	
Total secador (secador invernadero, bandejas, piso etc)	2000
Costos Totales	17627

Cuadro 6: Costos Totales

CONCLUSIONES

- El análisis térmico del edificio escolar solar pasivo, muestra que la envolvente tiene un comportamiento térmico eficiente, de modo que se logra una temperatura muy próxima a la del diseño (20°C). Esto confirma que tanto la selección de los materiales propuestos como el dimensionamiento de la planta son adecuados.
- La simulación del comportamiento térmico en los ambientes interiores de la escuela, muestra que se logra una variación diaria de temperatura de 5°C. Esta simulación pone de manifiesto que el salto térmico día –noche de la temperatura ambiente exterior, que es de 22°C, logra disminuirse fuertemente con este diseño masivo.
- De los cálculos realizados para el dimensionamiento de los sistemas para agua potable, provisión de energía eléctrica, agua corriente y del secador de productos agrícolas, surgen dimensiones razonables, con costos no excesivos, que los hacen posibles de ser realizados, en su totalidad o como sistemas individuales.
- Es posible aplicar los resultados del presente trabajo para la mejora de las condiciones de vida en pequeñas comunidades aisladas de escasos recursos de la zona de Cafayate, empleando como recurso energético fundamental la energía solar, sin perjudicar el medio ambiente.

REFERENCIAS

- Casermeiro M. y Saravia L. (1984). Cálculo Térmico Horario de edificios Solares Pasivos, Actas de la IX Reunión de Trabajo de ASADES, pp 39-45.
- Duffie J.A. y Beckman W.A. (1991). Solar Engineering of Thermal Processes, 2° edición, pp 304. Wiley Interscience, New York.
- Nadra Chaud C., Fontanilla E., Lema E., Saravia L. y Lesino G., (1984). Viviendas con Aprovechamiento de Energía Solar – Cachi – Salta, Actas de la IX Reunión de Trabajo de ASADES, pp 82-88.
- Torres M., Follari J. y Fasulo A. (1996) Análisis Térmico Comparativo entre Colectores Planos con Cubierta de vidrio y Policarbonato, Actas de la 19° Reunión de ASADES", pp 05.17-05.20.
- Saravia L. et al (1992) Ingeniería del Secado Solar, 1° edición, Subprograma VI “Nuevas fuentes y conservación de la energía”
- Cadena C.y Hoyos D. (1999) El dimensionamiento de un Sistema Fotovoltaico empleando "La Plataforma" como Práctica de Laboratorio de la Maestría en Energías Renovables, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol 3, N° 1, pp 04.17-04.20
- Robert S. (1991) Solar Electricity; A practical Guide to Design and installing Small Photovoltaic System, Prentice Hall.

ABSTRACT

This paper deals with different strategies using solar energy technologies to improve the life quality of poor rural inhabitants of Cafayate, Salta (Argentina). The proposal was developed taking into account the most urgent needs of the local residents as well as the climate and solar radiation information of the region. This paper includes the design of a) a photovoltaic centralized system for electric power supply; b) a solar dryer for seasonal agricultural crops; c) a school with thermal balance and schedule simulation; d) basin type solar still to supply drinking water; e) a solar heater (to provide the school with hot water. Finally, the cost analysis of the whole system is presented.